

(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift  
(11) DE 3620412 A1

(5) Int. Cl. 4:  
**G 01 D 5/20**  
G 01 L 1/12  
G 01 L 3/10

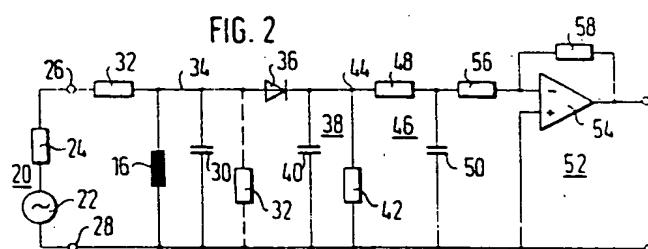
(21) Aktenzeichen: P 36 20 412.9  
(22) Anmeldetag: 18. 6. 86  
(43) Offenlegungstag: 23. 12. 87

(71) Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 7000 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:  
Dobler, Klaus, Dr.-Ing., 7016 Gerlingen, DE; Hachtel,  
Hansjörg, Dipl.-Ing. (FH), 7251 Weissach, DE

(54) Schaltungsanordnung zum Betreiben eines magnetoelastischen Sensors

Es wird eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines magnetoelastischen Sensors vorgeschlagen, die die Abhängigkeit des Sensorsignals (34) vom Abstand zwischen der Sensorspule (16) und dem Meßobjekt (10) weitgehend unterdrückt. Die Sensorspule (16) wird mit einem Kondensator (30) und einem Dämpfungswiderstand (32) zu einem Schwingkreis mit einstellbarer Dämpfung ergänzt. Durch geeignete Wahl des Widerstandswertes des Dämpfungswiderstandes (32), der Induktivität der Sensorspule (16), der Kapazität des Kondensators (30) sowie der Frequenz ( $f$ ) der zum Betrieb erforderlichen Wechselspannungs-Energiequelle (20) läßt sich die Schaltungsanordnung derart abstimmen, daß der Abstand (14) zwischen Sensorspule (16) und dem Meßobjekt (10) nahezu keinen Einfluß mehr auf das Sensorsignal (34) hat. Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung vereinfacht die Anwendung eines magnetoelastischen Sensors insbesondere Erfassung des Spannungszustandes eines bewegten Meßobjekts (10).



## Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zum Betreiben eines magnetoelastischen Sensors, bei dem eine Sensorspule auf eine Permeabilitätsänderung eines Meßobjekts reagiert, mit einem der Sensorspule zugeordneten Widerstand, mit einer Wechselspannungsquelle, die die Sensorspule speist, und mit Mitteln zur Auswertung des an der Sensorspule abnehmbaren Signals, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensorspule (16) ein Kondensator (30) zugeordnet ist und daß der Widerstandswert des der Sensorspule (16) zugeordneten Widerstands (24, 32), die Induktivität der Sensorspule (16), die Kapazität des Kondensators (30) sowie die Frequenz ( $f$ ) der Wechselspannungsquelle (20) derart aufeinander abgestimmt sind, daß eine Abstandsänderung (16) zwischen Sensorspule (14) und Meßobjekt (10) nahezu keinen Einfluß auf das Sensorsignal hat.
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der der Sensorspule (16) zugeordnete Widerstand zusammengesetzt ist aus einem Innenwiderstand (24) der Wechselspannungsquelle (20) und einem Dämpfungswiderstand (32).
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Serienschwingkreis vorgesehen ist, bei dem der Dämpfungswiderstand (32), der Kondensator (30) und die Meßspule (16) in Serie geschaltet sind.
4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Parallelschwingkreis vorgesehen ist, bei dem der Dämpfungswiderstand (32), der Kondensator (30) und die Meßspule (16) parallel geschaltet sind.
5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Dämpfungswiderstand (32) in Serie geschaltet ist zu einer Parallelschaltung aus Kondensator (30) und Meßspule (16).
6. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Wechselspannungsquelle (20) eine Reihenschaltung einer Spannungsquelle (22) und eines Innenwiderstandes (24) ist.
7. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Wechselspannungsquelle (20) besteht aus einer Parallelschaltung eines Wechselstromgenerators (22) und eines Innenwiderstands (24).
8. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das an der Meßspule (16) auftretende Sensorsignal (34) mit einer Diode (36) gleichgerichtet und in einer nachfolgenden Siebschaltung (38), mit der Parallelschaltung eines Kondensators (40) und eines Ableitwiderstands (42), geglättet wird.
9. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Verstärkeranordnung (52) zum Verstärken der geglätteten Sensorspannung vorgesehen ist.
10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Verstärkeranordnung (52) und der Siebschaltung (38) ein Tiefpaß (46) vorgesehen ist.

## Beschreibung

## Stand der Technik

5 Die Erfindung geht aus von einer Schaltungsanordnung zum Betreiben eines magnetoelastischen Sensors nach der Gattung des Hauptanspruches. Ferromagnetische Materialien, insbesondere amorphe Metalle oder Nickeleisen-Legierungen, ändern ihre Permeabilität in der Richtung, in der Zug- oder Druckkräfte auf sie einwirken. Dieser sogenannte magnetoelastische Effekt wird zum Messen von Kräften und Drehmomenten genutzt. Die Permeabilitätsänderung des Meßobjekts wird von einer Sensorspule erfaßt, die so nahe am Meßobjekt 10 angebracht ist, daß eine magnetische Kopplung stattfindet.

Aus der Patentanmeldung DE-P 35 34 460.1 ist eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines solchen magnetoelastischen Sensors bekannt. Ein Wechselspannungsgenerator speist eine Spannungsteilerschaltung, die aus der Reihenschaltung von einem Widerstand und der Sensorspule besteht, mit einem Wechselstrom vorgegebener Frequenz. Die Spannung an der Sensorspule wird erfaßt und ausgewertet. Eine Permeabilitätsänderung des Materials des Meßobjektes hat eine Spannungsänderung an der Sensorspule zur Folge, die ein Maß für die mechanische Einwirkung auf das Meßobjekt darstellt. Die Spannung an der Sensorspule hängt nicht nur von der Permeabilität des Meßobjektes sondern auch vom Abstand zwischen der Sensorspule und dem Meßobjekt ab, da sich die magnetische Kopplung ändert. Eine eindeutige Kraftmessung setzt somit einen konstanten Abstand zwischen Sensorspule und Meßobjekt voraus. Bei der Konstruktion eines magnetoelastischen Sensors muß ein erheblicher Aufwand getrieben werden, um eine Abstandsänderung zwischen Sensorspule und Meßobjekt zu vermeiden oder sehr enge Toleranzen einzuhalten. Eine Sensorkonstruktion, die diesen Gesichtspunkt weitgehend berücksichtigt, ist beispielweise aus der DE-OS 34 36 643 bekannt.

## Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung hat 45 demgegenüber den Vorteil, daß eine Abstandsänderung zwischen der Sensorspule und dem Meßobjekt nahezu keinen Einfluß mehr auf das Sensorsignal hat. Die Sensorspule ist mit einem Kondensator zu einem Schwingkreis ergänzt, dessen Dämpfung von einem Dämpfungswiderstand festgelegt ist. Ein Wechselspannungsgenerator ist zur Energieversorgung des Schwingkreises vorgesehen. Der Widerstandswert des Dämpfungswiderstandes, die Induktivität der Sensorspule, die Kapazität des Kondensators sowie die Frequenz des Wechselspannungsgenerators sind derart aufeinander abgestimmt, daß eine Abstandsänderung bei gegebenen Meßobjektmaterial nahezu keinen Einfluß mehr auf das Sensorsignal hat.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten 60 Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen der im Hauptanspruch angegebenen Schaltungsanordnung möglich.

Der Schwingkreis kann als Serien- oder Parallelschwingkreis ausgebildet sein. Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Dämpfungswiderstand in Reihe zu einem Parallel-Schwingkreis, bestehend aus Kondensator und Sensorspule, geschaltet ist. Mit dieser Schaltungsvariante wird ein gegebenenfalls erforderlicher Anpaßwider-

stand zwischen dem Schwingkreis und dem Wechselspannungsgenerator überflüssig.

Zweckmäßigerweise wird das an der Sensorspule anliegende Sensorsignal gleichgerichtet und in einer nachfolgenden Siebschaltung in eine Gleichspannung umgewandelt, die in einem nachfolgenden Gleichspannungsverstärker auf passende Werte verstärkt wird.

Günstig ist es, wenn zwischen dem Gleichspannungsverstärker und der Siebschaltung eine Tiefpaßanordnung vorgesehen ist.

Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung bringt eine große Ersparnis bei der Sensorkonstruktion, da präzisionsmechanische Teile entfallen. Auf einfache Weise wird die Drehmoment erfassung an rotierenden Teilen möglich. Bislang waren mehrere Sensoren zur Durchführung dieser Messung erforderlich.

Weitere Einzelheiten und vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung.

#### Zeichnung

**Fig. 1** zeigt einen magnetoelastischen Sensor, bestehend aus einer Sensorspule und einem Meßobjekt.

**Fig. 2** zeigt eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zum Betreiben des magnetoelastischen Sensors gemäß **Fig. 1**, und

**Fig. 3** zeigt Meßspannungen an der Sensorspule als Funktion der Frequenz eines in **Fig. 2** gezeigten Wechselspannungsgenerators.

#### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

**Fig. 1** zeigt ein Meßobjekt 10, das aus einem Material besteht, welches den magnetoelastischen Effekt zeigt. Auf das Meßobjekt 10 wird eine Zugkraft 12 ausgeübt. In einem Abstand 14 zu dem Meßobjekt 10 ist eine Sensorspule 16 angeordnet.

**Fig. 2** zeigt eine Wechselspannungs-Energiequelle 20, die aus einem Wechselspannungsgenerator 22 und einem Innenwiderstand 24 besteht. Die Wechselspannung steht an den beiden Anschlüssen 26, 28 zur Verfügung. Eine Parallelschaltung, bestehend aus der Sensorspule 16 und einem Kondensator 30 ist über einen Dämpfungswiderstand 32 an die beiden Klemmen 26, 28 geschaltet. An der Sensorspule 16 ist ein Sensorsignal 34 abnehmbar. Das Sensorsignal 34 wird über eine Diode 36 einer Siebschaltung 38, bestehend aus einem Siebkondensator 40 und einem Ableitwiderstand 42, zugeführt. Die gesiebte Signalspannung 44 gelangt über eine Tiefpaßanordnung 46, die aus einem Widerstand 48 und einem Tiefpaßkondensator 50 gebildet wird, an eine Verstärkeranordnung 52. Die Verstärkeranordnung 52 ist als invertierende Operationsverstärker-Schaltung 54 ausgebildet, deren Verstärkungsfaktor mit den beiden Widerständen 56, 58 einstellbar ist.

**Fig. 3** zeigt einen funktionalen Zusammenhang zwischen der Frequenz ( $f$ ) des Wechselspannungsgenerators 22 und des Sensorsignals 34 (U). Als Parameter sind ein unterschiedlicher Abstand 14 zwischen der Sensorspule 16 und dem Meßobjekt 10 sowie eine unterschiedliche Zugkraft 12 vorgesehen. Den beiden Kurven 60, 62 liegt ein unterschiedlicher Abstand 14 der Meßspule 16 von dem Meßobjekt 10 zugrunde, wobei auf das Meßobjekt 10 jeweils keine Zugkraft 12 ausgeübt wird. Der Kurve 60 liegt ein größerer Abstand 14 zugrunde als der Kurve 62. Die beiden Kurven 60, 62 schneiden sich in einem Schnittpunkt 64. Die beiden Kurven 66, 68 wer-

den erhalten, wenn auf das Meßobjekt 10 eine Zugkraft 12 ausgeübt wird. Der Kurve 66 liegt ein größerer Abstand 14 als der Kurve 68 zugrunde. Die beiden Kurven 66, 68 schneiden sich in einem Schnittpunkt 70. Die beiden Schnittpunkte 64, 70 liegen in Ordinatenrichtung nahezu übereinander. Sie liegen bei einer Frequenz  $F$  des Wechselspannungsgenerators 22.

Anhand von Meßvorgängen, denen unterschiedliche Abstände 14 und verschiedene Zugkräfte 12 zugrunde liegen, wird die Wirkung der Schaltungsanordnung nach **Fig. 2** anhand der in **Fig. 3** gezeigten Kurven näher erläutert:

Die Wechselspannungs-Energiequelle 20 erzeugt in der Sensorspule 16 einen Stromfluß. Das von der stromdurchflossenen Wicklung der Sensorspule 16 erzeugte magnetische Wechselfeld erfaßt das Meßobjekt 10, so daß die elektrischen Eigenschaften der Sensorspule 16 von dem Meßobjekt 10 beeinflußt werden. Zunächst bestimmt die Permeabilität des Meßobjektes 10 die Induktivität der Meßspule 16. Da sich die Permeabilität ferromagnetischer Stoffe unter Zug- oder Druckbelastung sowie bei Torsionsbeanspruchung ändert, kann berührungsfrei der mechanische Spannungszustand des Meßobjektes 10 gemessen werden. Dabei kann das Meßobjekt 10 beispielsweise vollständig aus ferromagnetischem Material hergestellt sein, es ist jedoch auch möglich, auf die Oberfläche eines nichtferromagnetischen Teiles eine dünne Schicht aus ferromagnetischem Material aufzubringen. Die Induktivität der Sensorspule 16 ist weiterhin auch eine Funktion des Abstandes der Spule 16 von dem Meßobjekt 10. Ein geringerer Abstand hat eine höhere Induktivität zur Folge.

Die elektrischen Eigenschaften der Meßspule 16 werden von einem zweiten Effekt bestimmt. Das magnetische Wechselfeld induziert in die metallene Oberfläche des Meßobjektes 10 Wirbelströme, die ein Absinken der Induktivität bewirken. Auch der Einfluß der Wirbelströme ist eine Funktion von dem Abstand der Sensorspule 16 von dem Meßobjekt 10. Beide Effekte vergrößern sich mit kleiner werdendem Abstand 14.

Die in **Fig. 3** gezeigte Kurve 60 ist einem bestimmten Abstand 14 zwischen der Sensorspule 16 und dem Meßobjekt 10 von beispielsweise 0,6 mm zugeordnet. Dargestellt ist die Amplitude des Wechselspannungs-Sensorsignals 34 als Funktion der Frequenz  $f$  des Wechselspannungsgenerators 22. Das Meßobjekt 10 sei zunächst entlastet, es wirke keine Zugkraft 12. Beim Auftreten einer Zugkraft 12 geht die Kurve 60 in die Kurve 66 über, wobei der Abstand 14 weiterhin 0,6 mm beträgt. Das Maximum der Kurve 66 ist gegenüber dem Maximum der Kurve 60 zu einer höheren Frequenz  $f$  hin verschoben. Eine auf das Meßobjekt 10 wirkende Zugkraft 12 bewirkt im gezeigten Beispiel eine Permeabilitätsabsenkung. Je nach Material kann sich auch eine Permeabilitätserhöhung ergeben.

Die beiden folgenden Meßvorgänge, deren Ergebnisse die beiden Kurven 62, 68 zeigen, werden bei einem kleineren Abstand 14 von beispielsweise 0,2 mm zwischen Spule 16 und Meßobjekt 10 durchgeführt. Der geringere Abstand 14 erhöht den Einfluß der Wirbelströme und erhöht gleichzeitig den Einfluß der Permeabilität des Meßobjektes 10 auf die Meßspule 16. Als Resultat ergebe sich die Kurve 62, deren Maximum gegenüber dem der Kurve 60 zu einer niedrigeren Frequenz  $f$  hin verschoben ist. Die beiden Kurven 60, 62 weisen bei einer bestimmten Frequenz  $F$  einen Schnittpunkt 64 auf. Die Einwirkung einer Zugkraft 12 führt, ausgehend von der Kurve 62, zu einem Resultat, das die

Kurve 68 zeigt. Die Zugkraft 12 verringert die Permeabilität des Meßobjekts 10, wodurch sich das Maximum der Kurve 68 gegenüber dem Maximum der Kurve 62 zu einer höheren Frequenz  $f$  hin verschiebt. Die Kurve 68 schneidet die Kurve 66 in dem Schnittpunkt 70, der nahezu bei der Frequenz  $F$  liegt.

Die Meßkurven 60, 62, 66, 68, die eine Funktion der Frequenz  $f$  sind, zeigen, daß bei einer bestimmten Frequenz  $F$  die Höhe des Sensorsignals 34 nahezu nur vom mechanischen Spannungszustand des Meßobjekts 10, nicht jedoch vom Abstand 14 zwischen der Sensorspule 16 und dem Meßobjekt 10 abhängt. Die beiden Schnittpunkte 64 und 70 liegen nicht exakt sondern nur näherungsweise bei der bestimmten Frequenz  $F$ .

Die Positionen der Schnittpunkte 64, 70 hängen von den Materialeigenschaften des Meßobjektes 10 ab, die fest vorgegeben sind. Die geeignete Wahl der Meßfrequenz  $f$ , die zum Wert  $F$  wird, der Induktivität der Meßspule 16, der Kapazität des Kondensators 30 sowie des Widerstandswertes des Dämpfungswiderstandes 32 eliminiert die Abstandsabhängigkeit des Meßergebnisses weitgehend. Die experimentell gefundenen Werte werden fest eingestellt und gelten für ein bestimmtes Material des Meßobjekts 10.

Das Sensorsignal 34, das als Wechselspannung mit der bestimmten Frequenz  $F$  vorliegt, wird mit der Diode 36 gleichgerichtet. Das Siebglied 38 glättet die gleichgerichtete, pulsierende Wechselspannung. Der Sieb kondensator 40 ist ergänzt durch den parallel geschalteten Ableitwiderstand 42. Ohne Ableitwiderstand 42 wäre nur eine Spitzenwetterfassung möglich. Eine noch verbleibende Welligkeit des Signals beseitigt der Tiefpaß 46, der aus einer Widerstands-Kondensator-Kombination 48, 50 besteht. Die nach dem Tiefpaß auftretende Gleichspannung wird in einer Verstärkeranordnung 52 auf einen gewünschten Signalpegel verstärkt, so daß die Signalspannung einen proportionale oder nahezu proportionalen Wert zur Sensorspannung 34 annimmt. Verwendet wird eine invertierende Verstärkerschaltung mit einem Operationsverstärker 54, deren Verstärkungsfaktor in bekannter Weise mit den beiden Widerständen 56 und 58 eingestellt wird.

Anstelle des in Fig. 2 gezeigten Parallelschwingkreises, bestehend aus der Meßspule 16 und dem Kondensator 30, ist es auch möglich, einen Serienschwingkreis zu verwenden. Auch bei einem Serienschwingkreis wird das Sensorsignal 34 an der Meßspule 16 abgegriffen.

Der Dämpfungswiderstand 32 kann bei dem in Fig. 2 gezeigten Parallelschwingkreis auch parallel zur Meßspule 16 geschaltet werden, wenn die Wechselspannungs-Energiequelle 20 als Stromquelle ausgebildet ist. Die in Fig. 2 gezeigte Schaltungsvariante, bei der der Dämpfungswiderstand 32 in Serie zum Parallelschwingkreis geschaltet ist, weist den Vorteil auf, daß die Wechselspannungs-Energiequelle 20 als Wechselspannungsgenerator 32 mit einem Innenwiderstand 24 ausgebildet sein kann. Diese Ausführung entspricht weitgehend den praktischen Gegebenheiten.

Nummer:  
Int. Cl. 4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

36 20 412  
G 01 D 5/20  
18. Juni 1986  
23. Dezember 1987

1/1

3620412

FIG. 1

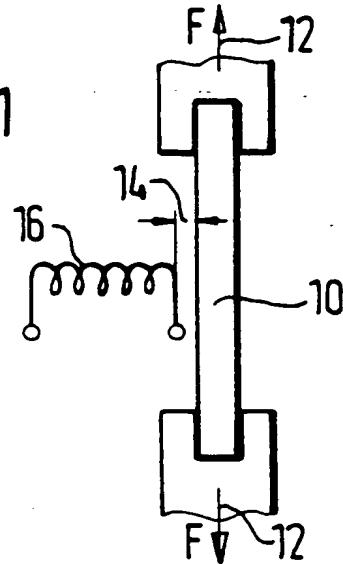


FIG. 2

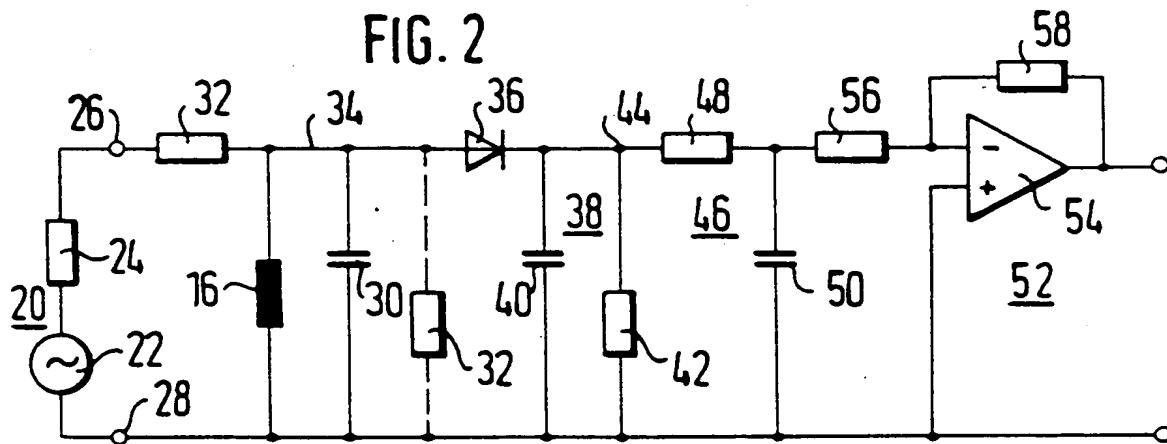
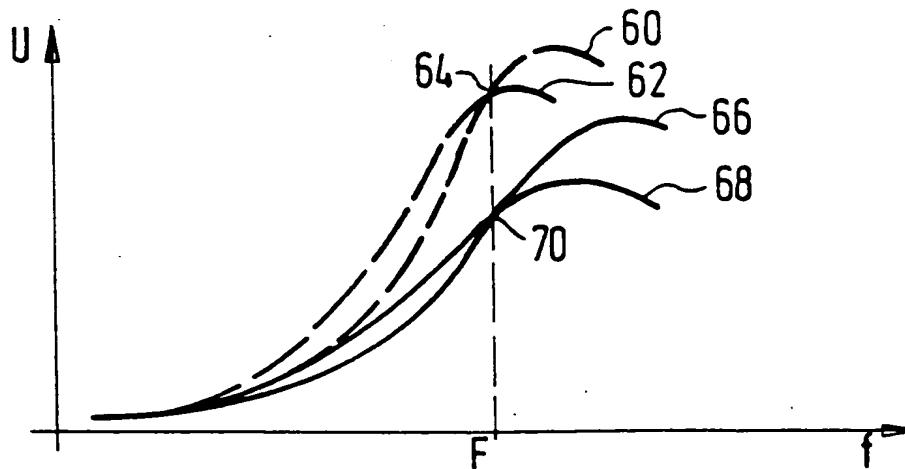


FIG. 3



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**